



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Webinar Perspectivas e Tendências das Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Contexto da Transição Energética

Nivalde de Castro
Roberto Brandão
Ana Carolina Chaves
Camila Vieira
Diogo Salles
Thiago Campos

TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico

Nº 91

Julho de 2020
Rio de Janeiro

TDSE

Texto de Discussão do Setor Elétrico N° 91

Webinar Perspectivas e Tendências das Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Contexto da Transição Energética

Nivalde de Castro

Roberto Brandão

Ana Carolina Chaves

Camila Vieira

Diogo Salles

Thiago Campos

ISBN: 978-65-86614-11-4

Julho de 2020

Sumário

1. Introdução	3
2. Perspectivas e Tendências das UHRs na Transição Energética	6
3. As UHRs na Transição Energética em Portugal.....	8
4. Aspectos Regulatórios das UHRs na Transição Energética.....	11
5. Desafios e Oportunidades para a Inserção das UHRs no SIN.....	14
6. Considerações Finais.....	19
Anexo I: Apresentação GESEL	20
Anexo II: Apresentação EDP	24
Anexo III: Apresentação ANEEL	33
Anexo IV: Apresentação EPE.....	37

Webinar Perspectivas e Tendências das Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Contexto da Transição Energética¹

Nivalde de Castro²

Roberto Brandão³

Ana Carolina Chaves⁴

Camila Vieira⁵

Diogo Salles⁶

Thiago Campos⁷

1. Introdução

As usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs) apresentam reconhecidos benefícios técnicos e operacionais para os sistemas elétricos a nível mundial. Diante do processo de transição energética vivenciado atualmente, no qual se espera o aumento exponencial de fontes renováveis intermitentes na matriz elétrica brasileira, como a eólica e a solar, as UHRs emergem como possível solução ao risco de déficit de potência do sistema. Dentre outras funções, este tipo de usina é capaz de fornecer potência firme e armazenar excedentes de energia, aumentando a segurança e a confiabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Tendo em vista a importância das UHRs no atual momento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), o Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) desenvolve o projeto de P&D intitulado “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no

¹ As opiniões e posições firmadas no estudo não refletem, necessariamente, as posições das empresas e instituições envolvidas. Sendo, assim, de exclusiva responsabilidade dos autores.

² Coordenador Geral do Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL.

³ Pesquisador Sênior do GESEL e Coordenador Geral do Projeto de P&D intitulado “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”.

⁴ Pesquisadora do GESEL e Coordenadora Executiva do Projeto de P&D intitulado “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”.

⁵ Pesquisadora Vinculada ao GESEL e membro da equipe do Projeto de P&D intitulado “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”.

⁶ Pesquisador do GESEL.

⁷ Graduando no curso de Economia na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sistema Interligado Nacional”. O projeto tem como objetivo central buscar o avanço do conhecimento sobre as UHRs, contemplando a definição de arranjos regulatórios, técnicos, operacionais e comerciais para viabilizar a inserção desta tecnologia no SEB, considerando os potenciais impactos no SIN.

A pesquisa está sendo executada por um conjunto de empresas formado por profissionais multidisciplinares, incluindo professores, doutores e pesquisadores, com experiência nos temas de operação, regulação econômica, meio ambiente e modelagem, a citar o GESEL, Hedaidi, Gptech e Mcpar. A empresa proponente é a Campos Novos Energia S.A. (ENERCAN) e as empresas cooperadas são a Energética Barra Grande S.A. (BAESA), a Companhia Energética rio das Antas S.A. (CERAN), a Foz do Chapecó Energia S.A. e a Paulista Lajeado Energia S.A. Adicionalmente, o projeto conta com o interesse do Operador Nacional do Sistema (ONS) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Posto isto, o GESEL organizou o Webinar “Perspectivas e Tendências das UHRs no Contexto da Transição Energética”, a fim debater as principais tendências desta temática, os obstáculos e desafios esperados e quais as estratégias de atuação dos agentes setoriais envolvidos. O Webinar contou com a presença de diversos especialistas dos mais variados segmentos, incluindo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a EPE e a EDP Portugal. Deste modo, o presente relatório tem como objetivo compartilhar e divulgar uma síntese dos pontos e temáticas mais relevantes abordados durante o evento.

Realizado no dia 17 de junho de 2020, o Webinar envolveu a realização de quatro palestras, seguidas por uma sessão de debate. O evento foi moderado pelo Prof. Paulo Barbosa, da Unicamp, e a programação é descrita abaixo:

- i. “Perspectivas e Tendências das UHRs na Transição Energética”, ministrada por Roberto Brandão, pesquisador e coordenador da área de Geração e Mercados do GESEL (Anexo I);
- ii. “As UHRs na Transição Energética em Portugal”, ministrada por Filipe Duarte, líder da Área de Engenharia e Otimização de ativos hidrelétricos na EDP Energias e Portugal (Anexo II);
- iii. “Aspectos Regulatórios das UHRs na Transição Energética”, ministrada por Isabela Vieira, engenheira eletricista e assessora da Diretoria da ANEEL, compondo o gabinete da Diretora Elisa Bastos (Anexo III); e
- iv. “Desafios e Oportunidades para Inserção das UHRs no SIN”, ministrada por André Makishi, engenheiro mecânico do Grupo de Usinas Hidrelétricas na Superintendência de Projetos de Geração da EPE (Anexo IV).

As respectivas apresentações estão disponíveis no site do projeto P&D⁸, onde é possível encontrar, também, informações detalhadas sobre a temática e o material produzido pela equipe, até o presente momento.

⁸ O site do projeto pode ser acessado através do link: www.projetouhr.com.br.

2. Perspectivas e Tendências das UHRs na Transição Energética

O primeiro modelo de UHR foi construído na Suíça, ainda no século XIX. Somente a partir das décadas de 1960 e 1970, as UHRs começaram a ser implementadas de forma abrangente em países da Europa, no Japão e nos Estados Unidos, de maneira a oferecer flexibilidade aos sistemas de geração com perfil de base, notadamente carvão e nuclear. Até a década de 1950, estas usinas cumpriam um papel relevante para o setor hídrico e em operações de transposição de bacias. Atualmente, no contexto da transição energética, o papel das UHRs passa a estar cada vez mais associado à viabilização da expansão de fontes renováveis intermitentes (eólica e solar).

No Brasil, o processo de transição energética envolve a perda de participação das hidrelétricas e a expansão das fontes intermitentes (solar e eólica) e sazonais (hídricas a fio d'água). Estas ações irão exigir soluções de flexibilidade para o sistema, no qual as UHRs emergem como uma possível alternativa.

O potencial para a construção de UHRs, no país, é muito alto e existem muitos arranjos compatíveis com a estrutura brasileira, a citar:

- i. A reutilização de reservatórios preexistentes como parte superior ou inferior de novas reversíveis;
- ii. O reforço de potência de usinas hidrelétricas com a construção de novas casas de força; e
- iii. A possibilidade de aproveitamento de rios com aflúências expressivas, permitindo a criação de reversíveis que geram energia.

Embora existam muitas possibilidades para a construção deste tipo de empreendimento, a definição dos potenciais a serem efetivamente explorados depende da viabilidade dos projetos. Por sua vez, estes esbarram tanto em questões regulatórias, visto que não existe um mecanismo vigente capaz de medir o valor do armazenamento da energia no Brasil, quanto na dificuldade das

ferramentas de planejamento em representar uma matriz com forte presença de fontes intermitentes, o que afasta a possibilidade de quantificar o benefício de projetos que forneçam confiabilidade ao sistema.

Para lidar com esta problemática, é necessário antever o valor que as UHRs terão ao longo das próximas décadas e, a partir de então, oferecer um sinal consistente de condições comerciais no longo prazo, que incentive investimentos neste tipo de empreendimento. Ou seja, sinalizar aos agentes do mercado qual é o perfil do parque gerador que se almeja construir.

Diante deste contexto, um dos objetivos do P&D desenvolvido pelo GESEL é realizar uma primeira avaliação dos benefícios provenientes das UHRs e se estes compensariam os custos de construção e operação destas usinas, abrindo espaço para uma discussão regulatória que vise incentivar este tipo de investimento.

No contexto atual, um dos serviços mais importantes prestados pelas UHRs é a garantia de potência firme e, para tanto, a comparação poderia ser feita tomando como referência o custo de oportunidade associado ao uso de uma termelétrica a gás de ciclo aberto. Além disso, destaca-se que, em regiões com alto potencial hídrico, como é o caso da Áustria, da Noruega, de Portugal e do Brasil, é possível implementar UHRs em cascata, de forma a fortalecer o parque hídrico existente.

3. As UHRs na Transição Energética em Portugal

Em Portugal, está em curso o processo de transição energética fundamentado nos chamados 3D's: digitalização, descentralização e descarbonização. No âmbito da descarbonização, uma das principais ações da política energética portuguesa, para 2030, é a redução da operação de usinas térmicas a carvão e o aumento da participação das fontes renováveis através da expansão agressiva da energia solar fotovoltaica.

Se antes a componente essencial da expansão das renováveis era a energia eólica, agora, a atenção concentra-se na energia solar. De acordo com as metas estipuladas, até 2030, projeta-se uma capacidade instalada de energia fotovoltaica cinco vezes superior à capacidade atual. Este cenário provocará uma profunda transformação nas dinâmicas de consumo e produção de energia elétrica.

Entretanto, o sistema não pode ser totalmente suportado por uma matriz renovável não despachável e esta variabilidade da geração de energia se consolida como um grande desafio para o sistema. Neste sentido, as UHRs se caracterizam como uma fonte alternativa de energia que nos permite trazer flexibilidade e atender a ponta e as necessidades da rede.

Inicialmente motivado pelo aumento da geração eólica e, recentemente, pela previsão de alta taxa de crescimento da energia solar, Portugal vem investindo na inserção de UHRs em seu sistema elétrico. A maioria das UHRs está localizada no norte do país, devido às características geográficas favoráveis. Nas últimas décadas, o aumento da participação destas usinas foi diretamente impulsionando pelo Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidrelétrico (PNBEPH) e este programa teve uma atuação estratégica na inserção das UHRs no setor português.

Dentre as principais UHRs portuguesas, destacam-se a UHR de Alto Rabagão e a UHR de Frades II. A primeira central entrou em operação em 1964, com 68 MW de potência, e é equipada com dois grupos de reversíveis. A usina apresenta uma

máquina dedicada exclusivamente à função de bombagem, contrariando a tendência atual de apenas uma máquina hidráulica combinando as funções turbina/bomba. Apesar disso, esta não é uma tecnologia obsoleta, apresentando suas devidas vantagens e certa retomada no mercado atual de UHRs mais modernas.

Já a UHR de Frades II, também conhecida como Vendas Novas III, apresenta um dos grupos reversíveis de velocidade variável mais potentes da Europa e a maior potência hidrelétrica instalada de Portugal (781 MW). O sistema permite variar a potência em bomba e alterna com facilidade e rapidez ambas as funções. Trata-se de uma usina recente, muito flexível e com retorno econômico expressivo.

Além dos benefícios mencionados, as UHRs são ativos de geração de grande longevidade. Um investimento neste tipo de usina tem uma extensa vida útil e uma rentabilidade acrescida. Outra tecnologia de armazenamento de grande tendência na transição energética é o hidrogênio.

Ressalta-se que, ao longo da transição energética, a entrada massiva de renováveis é uma tendência global. Além disso, quanto menor o custo unitário da energia, maior a entrada de novos empreendimentos no sistema.

Diante de um cenário de crescimento de geração intermitente, a prestação de serviços ancilares será crucial. Embora existam outras tecnologias emergentes que forneçam os serviços de estabilização e regularização, essa capacidade, que antes era intrínseca ao sistema, se tornará escassa e valorada.

Deste modo, pode-se dizer que as UHRs sempre terão um papel relevante do ponto de vista econômico e ambiental. Para isso, o enquadramento regulatório precisa ser aprimorado, criando mecanismos que valorizem estes benefícios. Caso contrário, teremos, cada vez mais, uma entrada maior de fontes renováveis, porém com dificuldade de escoá-las.

Atualmente, a participação da energia fotovoltaica ainda é reduzida. No entanto, prevê-se um forte crescimento desta fonte, haja vista as concessões que estão

abertas. Embora as soluções de armazenamento sejam imprescindíveis para o futuro dos setores energéticos na Europa, atualmente ainda não existe um enquadramento que justifique o seu investimento, tampouco ações de estímulo para a construção de soluções de armazenamento, como baterias.

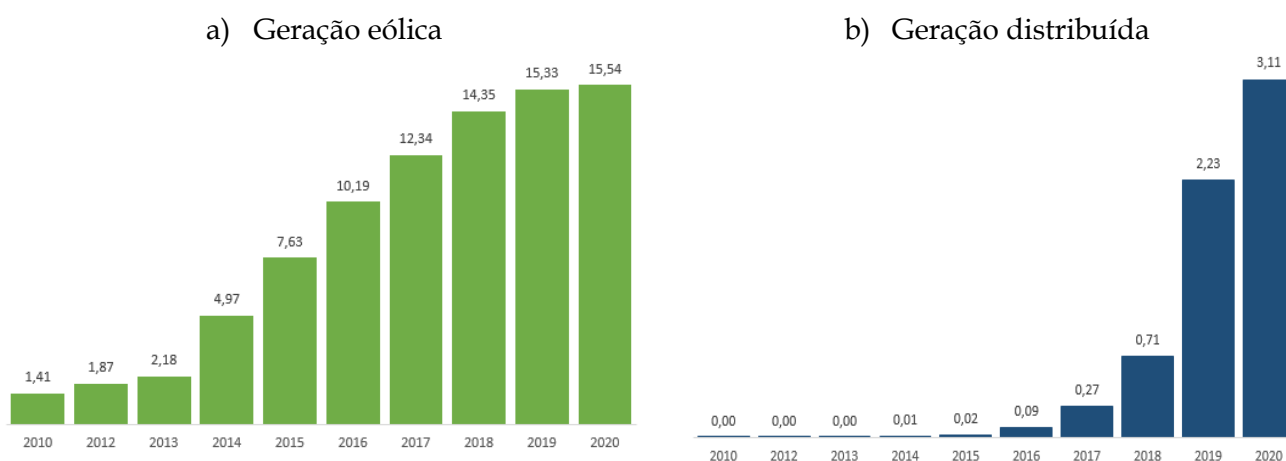
Neste sentido, a EDP vem trabalhando no desenvolvimento de projetos de armazenamento com energia fotovoltaica a nível piloto, ou seja, projetos sem escala significativa. Dentre estes, citam-se um projeto piloto no arquipélago dos Açores e outros projetos com fotovoltaica flutuante, aproveitando os reservatórios de usinas hidrelétricas existentes.

Seguindo a mesma tendência de Portugal e tendo em vista as características geográficas, técnicas e operativas do SEB, acredita-se que, nos próximos anos, o Brasil também apresentará diversos projetos de UHRs em seu território.

4. Aspectos Regulatórios das UHRs na Transição Energética

A transição energética é um movimento mundial que traz uma nova ordem baseada na sustentabilidade, na participação social e na inovação tecnológica. Assim como aconteceu no setor de telefonia nos últimos anos, o setor elétrico também tem passado por um cenário disruptivo. Nesta nova fase, serão protagonistas a geração distribuída, as redes inteligentes, as fontes renováveis de energia e a mobilidade elétrica. A velocidade dessas mudanças é bastante rápida, como pode ser observado nos gráficos da Figura 1 (a) e (b), que mostram, respectivamente, o rápido crescimento da geração eólica e da geração distribuída, no país.

Figura 1 - Crescimento da potência instalada no Brasil desde 2010 até 2020



Fonte: VIEIRA (2020).

Apesar dos indiscutíveis benefícios da transição energética, esta nos coloca diante de um novo cenário operativo, principalmente no Brasil, tendo em vista as dimensões continentais do SIN. Dessa forma, estamos passando de um cenário com forte sistema hidrotérmico, com predominância de geração controlável e grandes hidrelétricas de armazenamento, para um novo cenário com grande inserção de fontes não controláveis, como eólica e solar, e crescente presença da geração distribuída. Outro desafio enfrentado neste contexto é a dificuldade de regularização dos reservatórios, devido à redução da construção de novas

hidrelétricas, consequência do alto grau de restrições nos processos de licenciamento ambiental.

Além das mudanças estruturais do setor, existem também as mudanças nos perfis dos consumidores, causadas pelas mudanças climáticas e pelo aumento do poder aquisitivo da população, e o crescimento da mobilidade elétrica. Todas estas mudanças, até mesmo as relacionadas aos hábitos sociais da população, resultam em perfis de consumo menos comportados em comparação ao passado.

Dessa forma, as UHRs, assim como outras fontes de armazenamento de energia, ganham grande relevância. Especificamente em relação às UHRs, a sua flexibilidade pode oferecer para o sistema vários serviços ancilares, como reserva girante, acompanhamento da carga e controle de tensão e frequência.

É evidente que essas novas tecnologias estarão presentes no sistema nos próximos anos. Por isso, é necessário que as mudanças estejam no radar do setor, principalmente do operador. Hoje, é um desafio muito grande adequar as novas tecnologias ao nosso sistema, pois a regulação vigente não foi feita para comportar tanta geração não controlável. Exige-se, portanto, uma evolução do setor, tanto nos modelos de negócio, como nas inovações regulatórias.

A viabilidade econômica das UHRs gira em torno do mecanismo de arbitragem, aproveitando a diferença dos preços da energia consumida, quando ela opera no modo de bombeamento, e da energia produzida, quando ela opera no modo de geração. Outra forma adequada de remuneração para as UHRs é através dos seus serviços ancilares. Entretanto, destaca-se que o modelo regulatório brasileiro ainda apresenta certa dificuldade, tanto para a arbitragem de preços, como para a remuneração dos serviços ancilares.

No entanto, a boa notícia é que o SEB já vem discutindo soluções que tendem a contribuir para inserção das UHRs, bem como de outras tecnologias de armazenamento, no SIN. Dentre as medidas, destaca-se a mudança do cálculo do PLD para preços horários ou semi-horários, previsto para entrar em vigor em

janeiro de 2021, abrindo, portanto, um espaço para novos mecanismos de arbitragem de energia. Além disso, outra mudança setorial que abriria espaço para o redesenho de um mercado de capacidade é a separação entre lastro e energia. Já no que se diz respeito aos serviços ancilares, o setor tem discutido o assunto com o intuito de readequar melhor os custos.

A ANEEL tem contribuído com essa discussão através de sua agenda regulatória, citando-se dois itens:

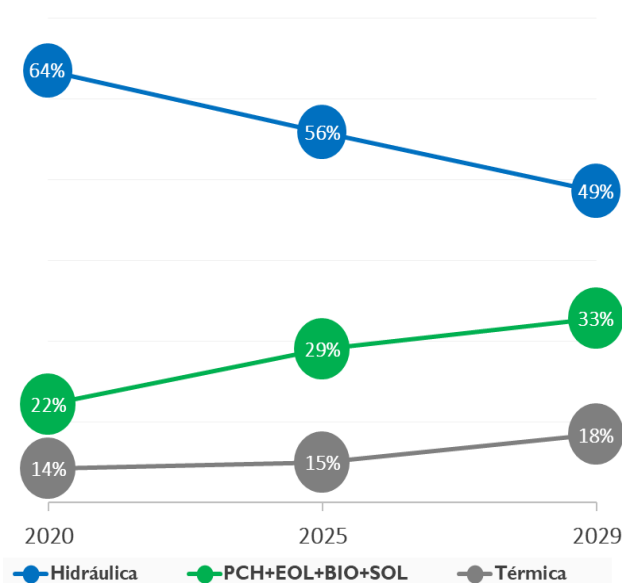
- i. **Item 39:** A revisão da Resolução Normativa nº 697/2015, que regulamenta a prestação e remuneração de serviços ancilares no SIN. Neste caso, serão avaliadas as particularidades técnicas dos diversos serviços ancilares e seus padrões de qualidade, além de discutir a forma adequada de remuneração desses serviços e a correta alocação dos seus custos. A previsão da ANEEL é que, ainda no segundo semestre de 2020, seja aberta uma consulta pública, já com uma análise regulatória sobre o tema, incluindo a regulação das UHRs.
- ii. **Item 55:** As adequações regulatórias para inserção de sistemas de armazenamento, incluindo UHRs, no SIN. Com previsão de alcançar o público no início de 2021, busca mostrar como esta tecnologia poderia ser inserida no modelo setorial brasileiro, através da definição de arranjos regulatórios e comerciais, assim como novos mecanismos de contratação e remuneração e, finalmente, desenhos de novos modelos de negócio.

De forma geral, a ANEEL se mostrou atenta a promover, em seus temas de discussão, mecanismos para contribuir com a inserção destas novas tecnologias de armazenamento no SIN, de forma a assegurar uma confiança operativa ao sistema, diante do novo cenário de transição energética enfrentado mundialmente.

5. Desafios e Oportunidades para a Inserção das UHRs no SIN

No final da década de 1990, quase 90% da capacidade total do SIN era proveniente de fontes hidrelétricas. Porém, essa participação tem diminuído com o tempo e menos projetos de hidrelétricas estão previstos para a expansão. O PDE 2029 mostra a contínua tendência de queda da participação hidrelétrica, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Participação das Fontes (% da Capacidade Instalada)



Fonte: Makishi (2020).

Um importante aspecto da expansão do sistema nacional sinalizado na apresentação é o fato de que esta expansão foi feita tendo como base o critério “energia”. Graças à predominância da geração hidrelétrica e suas características, outras necessidades operativas foram colocadas em segundo plano, pois já estavam associadas à energia hidrelétrica.

Com a inserção das fontes renováveis não controláveis, essas necessidades operativas se tornaram mais evidentes, o que levou à inevitabilidade de melhor análise dos requisitos operativos, a fim de adequar o planejamento a este novo cenário. Dentre essas necessidades operativas, citam-se:

- i. **Capacidade (habilidade de atender à carga a todo e qualquer instante).**
O planejamento aponta a necessidade de que o critério de “potência” seja anterior ao critério de “energia”. Identificam-se dois períodos em que há risco de escassez de potência:
 - a. Setembro a dezembro: baixa dos reservatórios; e
 - b. Janeiro a março: demanda elevada.
- ii. **Flexibilidade (variação de potência).** O PDE 2029 trouxe um primeiro exercício para quantificar o requisito de flexibilidade horária no horizonte decenal. Para tanto, utilizou-se como metodologia uma análise probabilística a partir dos dados de geração eólica e uma análise da curva de carga líquida. A partir disso, buscou-se identificar a tendência de necessidade ou não da flexibilidade. Como resultado, é esperado que o SIN não apresente necessidade de expansão específica para o suprimento de flexibilidade até 2029. No entanto, destaca-se a necessidade de monitoramento do requisito.
- iii. **Serviços Ancilares.** Esse é um tema que vem ganhando importância e a EPE tem realizado estudos para verificar a sua necessidade. No Brasil, os serviços são obrigatórios e alguns possuem até receita anual. Porém, a receita tem como objetivo fazer frente aos custos diretos, sem criar, assim, oportunidades atraentes para novos investimentos. Alguns aprimoramentos estão sendo discutidos, como, por exemplo, a criação de ambientes competitivos, favorecendo a inserção de novas tecnologias, o que inclui as usinas reversíveis. Como resultado de consulta pública da ANEEL, a EPE divulgará nota técnica específica sobre os serviços ancilares.

Com a tendência de crescimento dos requisitos de operação do SIN, além da “energia”, entende-se que as reversíveis podem ser uma boa alternativa para a expansão do sistema.

Destacam-se alguns atributos importantes deste tipo de tecnologia:

- i. Diversas concepções construtivas e tecnologias;
- ii. Possível proximidade com centros de carga;
- iii. Longa vida útil; e
- iv. Alternativa (entre outras) para atender as necessidades do SIN.

Adicionalmente, citam-se alguns serviços que podem ser oferecidos:

- i. Arbitragem de energia e atendimento da ponta;
- ii. Flexibilidade e acompanhamento da carga;
- iii. Controle de frequência (+P, -P);
- iv. Controle de reativos;
- v. Autorrestabelecimento (*blackstart*);
- vi. Adiamento investimentos em transmissão;
- vii. Suporte a fontes inflexíveis; e
- viii. Usos múltiplos dos reservatórios.

Algumas pesquisas apontam que, de todas as reversíveis existentes, a grande maioria foi construída em mercados com estruturas monopolistas ou com estrutura similar à monopolista. Assim, os custos de implantação são repassados para os consumidores via tarifa, garantindo receita e tornando o ambiente de investimento mais favorável.

Com a reestruturação dos mercados e a desverticalização de algumas empresas a partir da década de 1990, a experiência internacional mostra que a inserção das reversíveis tem se tornado mais complexa, devido, principalmente, a características de projeto, como:

- i. Capital intensivo;
- ii. Baixa padronização, com forte dependência de características locais;
- iii. Longo tempo de estudos, licenciamento e construção, em relação a outras tecnologias; e
- iv. Usos múltiplos dos recursos hídricos.

Além dessas primeiras características, similares às hidrelétricas convencionais, as UHRs apresentam, também, algumas características específicas, como:

- i. Previsão e valoração dos benefícios no longo prazo e dependência de diversas características do sistema (matriz, perfil de consumo e disponibilidade de recursos energéticos);
- ii. Inexistência de regulação (comercialização dos diversos serviços, operação e outorga); e
- iii. Sinalização econômica das necessidades.

A EPE também vem desenvolvendo alguns estudos no âmbito das UHRs, dentre os quais, citam-se

- i. Estudos preliminares de inventário de UHR, incluindo proposta de critérios e metodologia, sendo o Rio de Janeiro como um projeto piloto (Nota Técnica EPE-DEE-NT-006/2019-r0: <http://bit.ly/UHR-EPE>); e
- ii. Elaboração de Ferramentas em ArcGIS para mapeamento de locais favoráveis para implantação de UHR de circuitos aberto e fechado (Ferramenta Geo UHR: <https://bit.ly/GeoUHR>).

No que diz respeito aos trabalhos futuros da empresa, mencionam-se:

- i. Proposta de manual de estudos de inventário de UHR, envolvendo:
 - a. - Estudos de valoração de benefícios decorrentes da inserção da UHR no SEB, com a definição de critérios e metodologia;
- ii. - Metodologia e critérios de projeto para elaboração dos estudos de inventário de UHR, com o mapeamento dos locais mais promissores para implantação de UHR, o pré-dimensionamento e a caracterização básica dos aproveitamentos mais promissores e a análise socioambiental, além da hierarquização e seleção das UHR para detalhamento;
 - a. - Elaboração de projeto piloto para sua validação.
- iii. Estudos sobre os desafios para inserção das UHR nos mercados de energia (mercado/regulação), analisando a experiência internacional.

Por fim, ressalta-se que a EPE caminha no sentido da “neutralidade tecnológica”, ou seja, tenta-se, ao máximo, especificar as necessidades do sistema e deixar o mercado estabelecer, de forma competitiva, qual é a melhor forma para supri-las. Dentre as possibilidades analisadas, a repotenciação é uma opção para o curto prazo. No entanto, é preciso fazer aprimoramentos no desenho de mercado para que, no futuro, este tipo de contratação possa ser realizado com critérios metodológicos.

6. Considerações Finais

No âmbito do projeto de P&D “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”, este relatório teve como objetivo apresentar uma síntese dos principais pontos discutidos no Webinar “UHRs no Contexto da Transição Energética”, organizado pelo GESEL.

Ao longo do evento, torna-se evidente os potenciais benefícios promovidos pelas UHRs no processo de transição energética, como o fornecimento de potência firme, a prestação de serviços ancilares e o aumento da flexibilidade e capacidade de armazenamento do sistema. Apesar das vantagens operativas, o Brasil enfrenta diversos desafios de caráter regulatório e econômico-financeiro para a inserção das UHRs no SIN. Neste sentido, a experiência do contexto português nos fornece lições estratégicas, com destaque para a importância dos mecanismos de incentivo no escopo do PNBEPH.

Por fim, ressaltam-se os avanços do SEB no sentido de viabilizar a inserção das UHRs no sistema. Nestes termos, a EPE vem elaborando estudos de inventário e ferramentas para o mapeamento de localizações favoráveis à construção de UHRs. Adicionalmente, a ANEEL já apresenta os primeiros passos para o aprimoramento e a adequação do arcabouço regulatório, visando a inserção deste tipo de usina no SIN, através da revisão da Resolução Normativa nº 697/2015, que trata dos serviços ancilares. Espera-se, assim, que o setor avance no estudo de novas alternativas energéticas, a fim de atender, da melhor forma, as necessidades do sistema, as expectativas econômicas e sociais e os limites dos ecossistemas.

Anexo I

O Anexo I traz as perspectivas e tendências das UHRs no contexto da transição energética. A apresentação, realizada por Roberto Brandão, pesquisador do GESEL e Coordenador do projeto de P&D intitulado “Viabilidade de Usinas Hidrelétricas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”, segue abaixo.



Grupo de Estudos do Setor Elétrico

Perspectivas e Tendências das Usinas Hidrelétricas Reversíveis no contexto da Transição Energética

Roberto Brandão

17 de junho de 2020

1

Usinas reversíveis no mundo

- Hidrelétricas com bombeamento existem desde o fim do sec. XIX.
- Até os anos 50 foram construídas poucas UHRs. Eram usadas sobretudo no setor de **águas** e na **transposição** de bacias.
- Nos anos 60 e 70, há um boom de usinas reversíveis na Europa, Japão e EUA. Objetivo principal era dar **flexibilidade** a sistemas com forte participação de geração **nuclear** e/ou a **carvão**.
- Reversíveis recentes são pensadas frequentemente para compensar a intermitência e/ou sazonalidade das **renováveis**. São peça chave na descarbonização do setor elétrico.



Grupo de Estudos do Setor Elétrico

2

Usinas reversíveis no Brasil

- Primeiras aplicações foram na **transposição** de águas: Traição e Pedreira (EMAE), Vigário (Light).
- Expansão **concentrada em hidroelétricas** deu grande flexibilidade ao parque gerador brasileiro, reduzindo o espaço das UHRs.
- Recentes **mudanças na matriz** de geração criam necessidade de projetos que com flexibilidade operativa e que garantam o atendimento à demanda instantânea: perda de participação das hidroelétricas, forte expansão de fontes intermitentes (eólica e solar) e sazonais (hídricas a fio d'água).

Usinas reversíveis no Brasil

Potencial técnico do Brasil para UHR é alto:

- **Reservatórios existentes** podem ser utilizados como reservatório inferior ou superior para uma UHR;
- **Reforços de potência** em algumas usinas existentes pode ser feito com turbinas reversíveis;
- Há aproveitamentos possíveis em rios com **afluências expressivas**;
- Há uma infidade de aproveitamentos que podem explorar **desníveis importantes**, próximos ou não a rios com afluência expressiva.

Usinas reversíveis no Brasil

Cada projeto pode aportar ao SIN um **conjunto único de serviços**:

- Geração de energia a partir de afluências locais;
- Potência firme;
- Armazenamento local;
- Armazenamento na cascata;
- Serviços ancilares, etre outros.
- A **viabilidade** de cada projeto depende:
 - Dos custos de construção e operação;
 - Das receitas que o empreendedor terá com os serviços.

Usinas reversíveis no Brasil

O primeiro problema para viabilizar as UHR no Brasil é regulatório:

- Hoje o Brasil **valoriza** apenas a **energia** gerada, o que inviabiliza projetos que ofereçam outros tipos de serviço.
- Separação de **lastro** e energia será um passo à frente (valoração da potência firme).
- **Preços horários** introduzirão sinais econômicos para projetos que façam arbitragem de preços.
- Há ainda a questão de como valorar **outros serviços**, notadamente o armazenamento e os serviços ancilares.

Usinas reversíveis no Brasil

O segundo problema diz respeito ao inventário dos potenciais:

- O mapeamento de potenciais e a seleção dos mais promissores depende de uma valoração dos *difentes serviços* das UHR.

Exemplos:

- Projetos com bom potencial de *armazenamento* só serão selecionados se o custo envolvido se traduzir em benefício quantificável;
- Projetos com alta *sinergia* com a operação do parque hídrico existente só serão atrativos se este valor puder ser captado.

Usinas reversíveis no Brasil

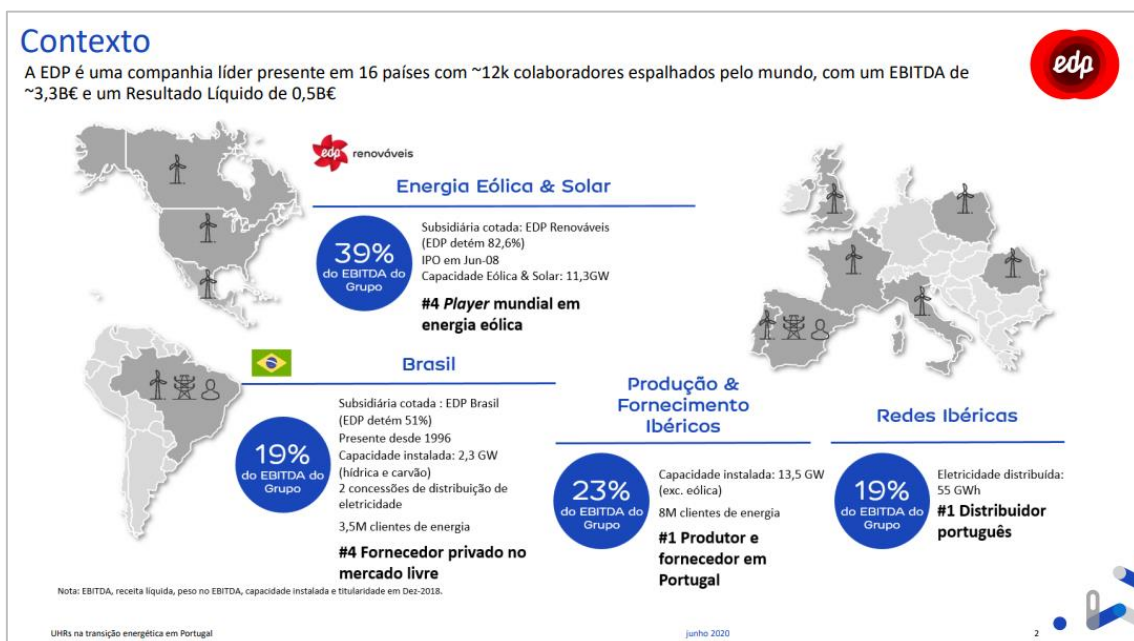
Resolver os dois problemas mencionados depende de sermos capazes de antecipar o valor que os serviços prestados pelas reversíveis terão em um horizonte de algumas *décadas*:

- Isto implica em sinalizar para os empreendedores qual o *perfil* do parque gerador que se se almeja construir;
- Em boa medida é um problema de *planejamento* do SIN;
- As ferramentas de planejamento hoje utilizadas no Brasil têm *dificuldade* de representar uma matriz com forte presença de fontes intermitentes e sazonais.
- Mas há novidades nesta área, internacionalmente e no Brasil.

Obrigado pela atenção!

Anexo II

O Anexo II traz a experiência da EDP no contexto da transição energética em Portugal, tratando mais especificamente do papel das UHRs frente à crescente e promissora inserção de energias renováveis intermitentes. A apresentação, realizada por Filipe Duarte da EDP Portugal, segue abaixo.



Contexto

A EDP Produção...

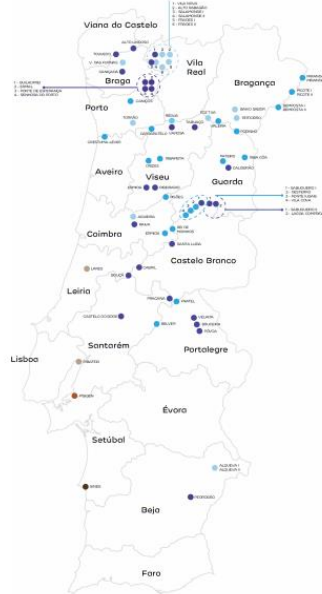
... é a empresa do Grupo EDP
detentora da geração
convencional em Portugal

Centrais Hídricas Hydro Power Plants

- Central de abutamento
- Central de fio de água
- Central hidroelétrica com bombagem

Centrais Térmicas Thermal Power Plants

- Central a carvão
- Central a gás
- Central de ciclo combinado a gás natural
- Central de cogeração



62 Centrais
hidrelétricas

6,8 GW

34% potência instalada em
Portugal

2,6 GW UHRs

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020



Contexto

UHRs da EDP Produção



1. Alto Rabagão (1964)
2. Aguieira (1981)
3. Vilarinho das Furnas II (1987)
4. Torrão (1988)
5. Alqueva (2003)
6. Venda Nova II (2005)
7. Alqueva II (2012)
8. Salomonde II (2016)
9. Baixo Sabor e Feiticeiro (2016)
10. Venda Nova III (2017)
11. Foz Tua (2017)

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020



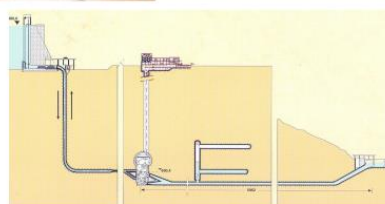
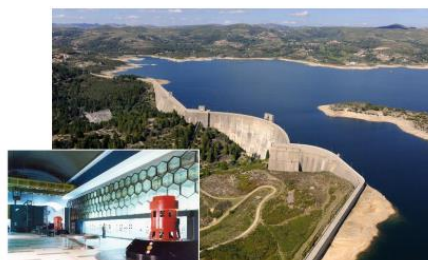
Contexto

UHRs da EDP Produção – Alto Rabagão



O aproveitamento está situado no rio Rabagão. A central é subterrânea em caverna, equipada com dois grupos reversíveis, e está implantada a 130 m de profundidade. O túnel de restituição tem cerca de 6 km, dotado de chaminé de equilíbrio.

Principais Indicadores	
Entrada em Serviço	1964
Potência	68 MW
Queda	180 m
Caudal turbinamento/bombagem	52,8/36 m³/s
Volume útil	550,1 hm³



UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

5

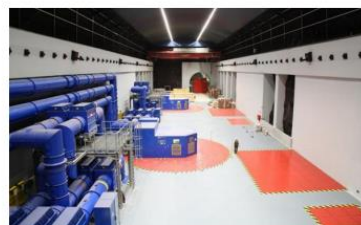
Contexto

UHRs da EDP Produção – Venda Nova III



O reforço de potência está situado na margem esquerda do rio Cávado. Inclui uma nova central subterrânea em caverna, equipada com dois grupos reversíveis de velocidade variável, e um novo circuito hidráulico. A central tem a maior potência hidroelétrica instalada em Portugal.

Principais Indicadores	
Início da Construção	2010
Entrada em Serviço	2016
Potência	781 MW
Produtibilidade Média Anual	1441 GWh
Produtibilidade líquida bombagem	19 GWh
Queda	420 m
Caudal turbinamento/bombagem	200/160 m³/s
Volume útil	16 hm³



UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

6

Contexto

UHRs da EDP Produção – Venda Nova III



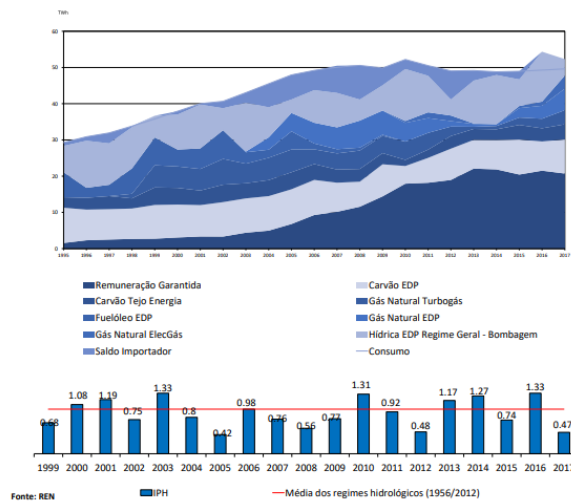
UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

7

Impacto das renováveis

Renováveis em crescimento



Fonte: REN

UHRs na transição energética em Portugal

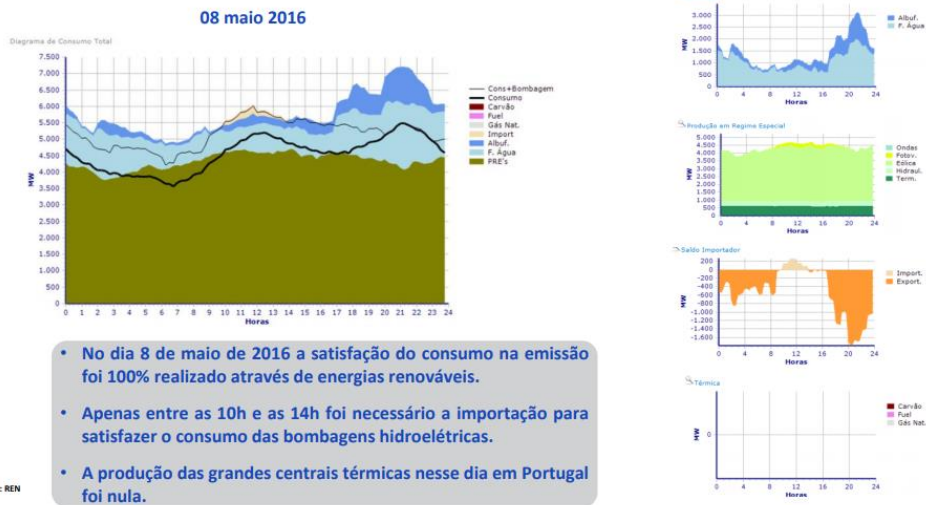
junho 2020

8

Emissão em 2017 (GWh)	
Produção EDP Regime Geral	22 093
Hídrica	6 726
Térmica	15 367
Produção Regime Geral (Outras)	11 719
Carvão Tejo Energia	4 182
Gás Natural Turbogás	3 902
ElecGás	3 635
Remuneração Garantida	20 711
Eólica	11 974
Mini-Hídrica	613
Fotovoltaico	833
Ondas	0
Biomassa	2 810
Outras não renováveis	4 481
Saldo Importador	-2 684
Consumo em Bombagem	2 223
Consumo	49 617

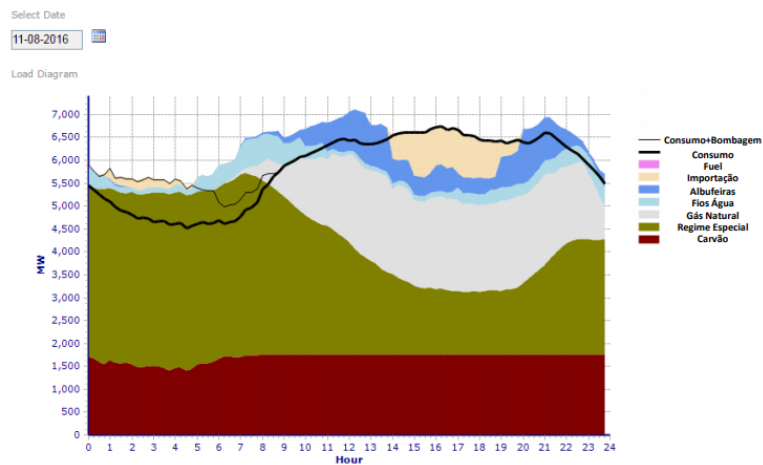
Impacto das renováveis

Dias inteiros exclusivamente “renováveis”



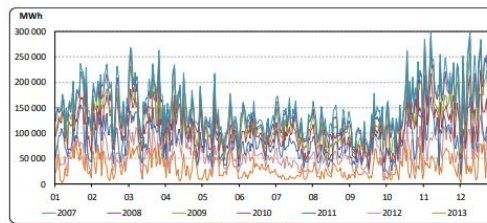
Impacto das renováveis

Contudo, necessidade esporádica de usinas termoeletricas

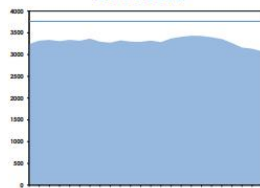


Impacto das renováveis

Produção eólica muito variável



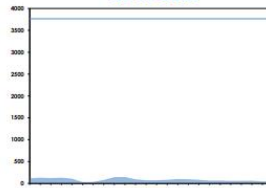
14-04-2012



Max. – 3 434 MW
Min. – 3 074 MW
Produção – 79.4 GWh

65%
Consumo
diário

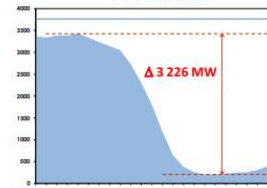
19-10-2012



Max. – 147 MW
Min. – 32 MW
Produção – 2.1 GWh

2%
Consumo
diário

24-11-2012



Max. – 3 433 MW
Min. – 207 MW
Produção – 41.3 GWh

32%
Consumo
diário

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

11

Visão da EDP para 2030

Principais objetivos... alinhados com tendência global



Descarbonização



Digitalização



Descentralização



>90% geração
renovável



Redução de 90% de
emissões (vs 2005)



"coal-free"



>4 M painéis
fotovoltaicos instalados



>1 M clientes com
mobilidade elétrica



100% "smart grids"
(Iberia)

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

12

12

Visão da EDP para 2030

... em condição privilegiada na transição energética pela circunstância de ser um “early-mover”



•Presente...



~21 GW

em renováveis, no mundo

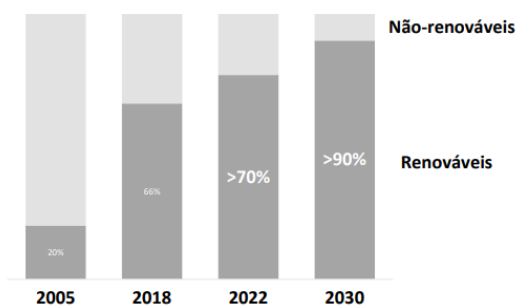
- Top-5 player éolico global ~12 GW
- >9 GW em hídrica, ~2,6 GW UHR

>€20 Bn

Investidos em renováveis desde 2006

- 75% em éolica
- 40% nos EUA

•... Futuro



UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

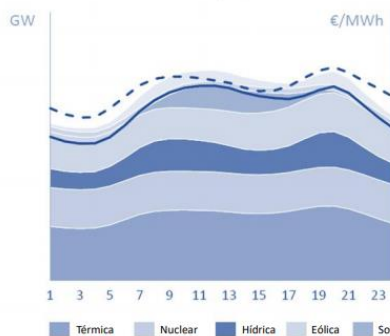
13

Visão da EDP para 2030

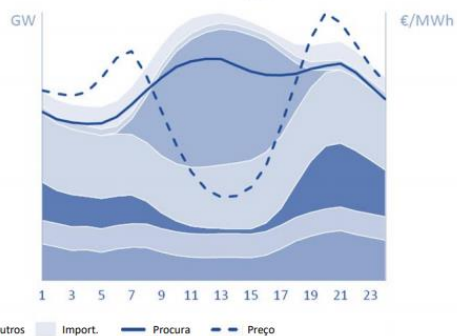
Penetração significativa de renováveis não despacháveis... aumento sustentado em éolica e crescimento abrupto em fotovoltaico...



Mix de geração e variação de preços em Espanha
2018



Mix de geração e variação de preços em Espanha
2030



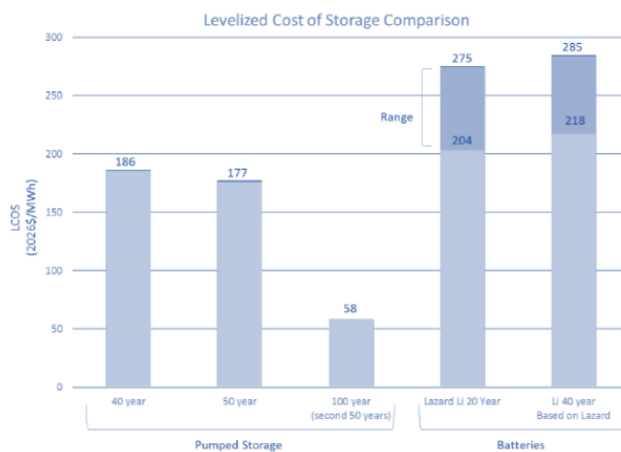
UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

14

Solução

O armazenamento será mais procurado... e existirá lugar para várias tecnologias...



Fonte: David G. Victor, 2019

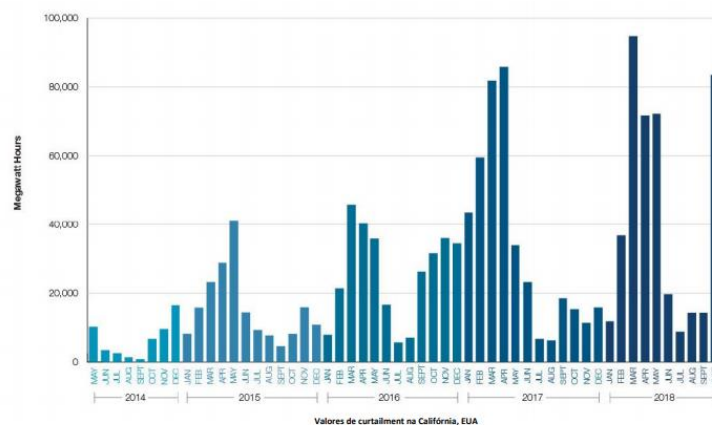
UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

15

Solução

O dinamizador será o crescimento do curtailment...



Fonte: David G. Victor, 2019

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

16

Outros serviços

Dependentes do enquadramento regulatório e de mercado...



Mais prementes porque:

- Geração convencional térmica em retirada gradual
- Novas tecnologias deficitárias relativamente à inércia

Technological Solutions	Ancillary Services							
	Synchronous Inertia	Synthetic Inertia	Fast Frequency Response	Frequency containment reserve	automatic frequency restoration reserve	manual frequency restoration reserve	Replacement reserve	Voltage/VAR control
	timescale	0 s	<500 ms	0.5-2 s	<30 s	30 s - 15 min	<15 min	>15 min
	VS (DFIM)							
	Fixed Speed							

Capable of providing the service
 Capable with room for improvement
 Not capable of providing
 T turbine mode
 P pump mode } for PSP only (including black start)

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

17

Conclusões



- A transição energética colocará enorme pressão sobre as soluções de armazenamento disponíveis.
- Ainda que outras tecnologias emergentes reúnam mais atenção mediática e apoio em I&D (Baterias, H₂, etc.), as UHRs constituirão um dos atores de referência perspetivando-se que existirá lugar para todos.
- A prestação de serviços de sistema será crucial mas o enquadramento regulatório e de mercado terá de evoluir.

UHRs na transição energética em Portugal

junho 2020

18



Anexo III

O Anexo III traz as perspectivas setoriais da ANEEL e quais ações, no âmbito regulatório, tem sido tomadas para acompanhar a evolução do setor elétrico, especificamente sobre as UHRs. A apresentação, realizada pela Assessora da Diretoria da ANEEL, Isabela Sales Vieira, segue abaixo.



Transição Energética

Geração Eólica

Potência Instalada: **15,5 GW**



Geração Distribuída

Conexões: **249.030**

Potência Instalada: **3,1 GW**



Novo contexto operativo



- ✓ Fontes renováveis intermitentes
- ✓ Fontes não controláveis
- ✓ Redução capacidade regularização de UHE
- ✓ Geração distribuída
- ✓ Novos perfis de consumo



Usinas Hidrelétrica Reversíveis

- ✓ Fornecer potência nos momentos de maior necessidade
- ✓ Contribuir com a segurança sistêmica
 - Reserva girante
 - Acompanhamento da carga
 - Controle de tensão e frequência



Desafios Regulatórios



Em geral, a viabilidade econômica das UHR depende da diferença entre os preços da energia consumida no bombeamento e da energia produzida na geração.

**PREÇO HORÁRIO
OU SEMI-HORÁRIOS
ARBITRAGEM**

**LASTRO E ENERGIA
MERCADO DE CAPACIDADE
MERCADO DE SERVIÇOS ANCILARES**

O modelo de negócio também pode ser competitivo em um mercado que remunera adequadamente os serviços prestados ao sistema.

Mudanças no modelo setorial e novos mecanismos regulatórios que tornem competitivos os projetos de UHR.

Item 39 - Revisão da Resolução Normativa nº 697/2015, que regulamenta a prestação e remuneração de serviços ancilares no SIN.

Agenda
Regulatória

2020-2021

- ✓ Particularidades técnicas dos diversos serviços ancilares e seus padrões de qualidade.
- ✓ Adequada remuneração dos serviços ancilares.
- ✓ Correta alocação dos custos desses serviços.

Item 55 - Adequações regulatórias para inserção de sistemas de armazenamento, incluindo usinas reversíveis, no Sistema Interligado Nacional.

Agenda
Regulatória

2020-2021

- ✓ Inserção dessas tecnologias no modelo setorial.
- ✓ Definição de arranjos regulatórios e comerciais.
- ✓ Novos mecanismos de contratação e remuneração.
- ✓ Desenho de novos modelos de negócio.

ANEEL
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

ENDEREÇO: SGAN 603
Módulos I e J - Brasília/DF
CEP: 70830-110

TELEFONE GERAL: 061 2192 8606
OUVIDORIA SETORIAL: 167



Anexo IV

O Anexo IV traz uma análise dos desafios e oportunidades para a inserção das UHRs no SIN. A apresentação, realizada pelo Analista De Pesquisa Energética da EPE, André Makishi, segue abaixo.

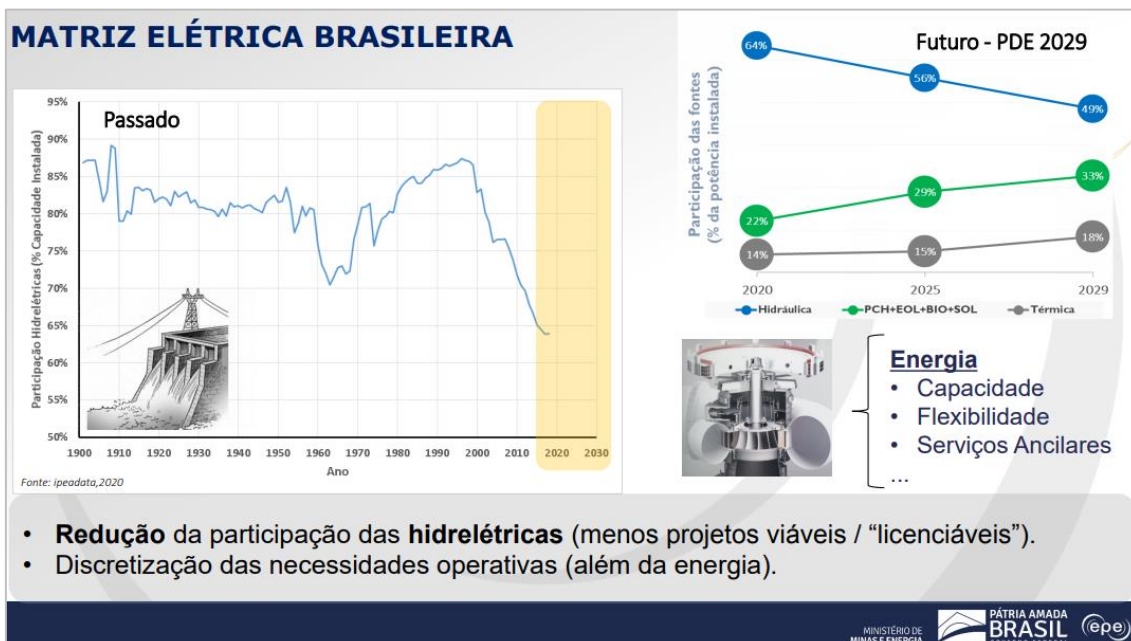
Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR) Desafios e Oportunidades para Inserção no SIN

Webinar GESEL

André Makishi
Analista de Pesquisa Energética – DEE/SEG

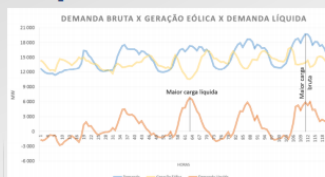
17 de junho de 2020

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  



NECESSIDADES OPERATIVAS

Capacidade



- Planejamento identifica necessidade de **potência anterior a de energia**;
- Escassez de potência:
 - Setembro a dezembro: N.A. baixo dos reservatórios.
 - Janeiro a março: Demanda elevada.

Flexibilidade

Perfis típicos de carga bruta e líquida do SIN

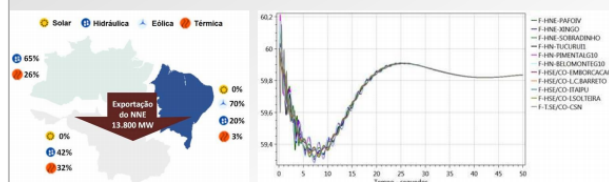


- O PDE 2029 traz um primeiro exercício para **quantificar o requisito de flexibilidade** horária no horizonte decenal.
- É esperado que o SIN não apresente necessidade de expansão específica para o suprimento de flexibilidade até 2029.
- No entanto o requisito deve ser monitorado.

NECESSIDADES OPERATIVAS

Serviços Ancilares

Simulações Elétricas de Desempenho Dinâmico do Sistema



Cenários

- Bloqueio do bipolo Xingu-Terminal Rio
- Redução de 9% da geração eólica do Nordeste
- Perda de Angra I

Necessidades de controle primário e secundário de frequência atendidas no horizonte PDE2029

- Futuro com menor participação das hidrelétricas: **Inserção de novas tecnologias.**
- Ambiente competitivo (p/alguns serviços) / **neutralidade tecnológica.**
- Aprimoramentos regulatórios: Consulta pública ANEEL
- **Nota Técnica EPE**

USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)



- Diversas concepções construtivas e tecnologias;
- Possível proximidade com centros de carga;
- Longa vida útil;
- Alternativa (entre outras) para atender as necessidades do SIN.

APLICAÇÕES

- Arbitragem de energia / Atendimento ponta;
- Flexibilidade / acompanhamento carga;
- Controle de frequência (+P, -P);
- Controle de reativos;
- Autorrestabelecimento (black start);
- Adiamento investimento transmissão;
- Suporte a fontes inflexíveis;
- Usos múltiplos dos reservatórios;

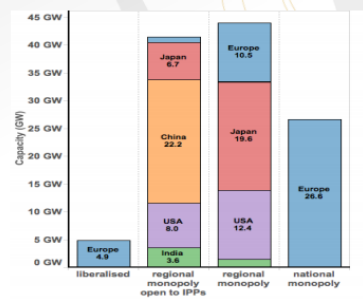
...

USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)

DESAFIOS

Similares às UHE convencionais

- Capital intensivo;
- Baixa padronização: forte dependência com características locais.
- Longo tempo de estudos / licenciamento / construção (em relação a outras tecnologias);
- Usos múltiplos.
- Previsão/valoração dos benefícios no longo prazo. Dependência com diversas características do sistema;
- Regulação (comercialização dos diversos serviços, operação, outorga).
- Sinalização econômica das necessidades.



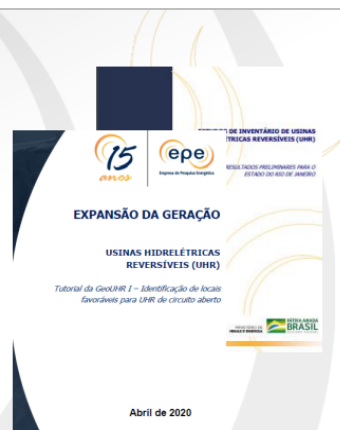
Fonte: Barbour 2016

> 95% UHR comissionadas em mercados com estrutura monopolista

USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)

Estudos desenvolvidos pela EPE

- Estudos preliminares de Inventário de UHR, incluindo proposta de critérios e metodologia;
- Elaboração de Ferramentas em ArcGIS para mapeamento de locais favoráveis para implantação de UHR de circuitos aberto e fechado.



- Nota Técnica (EPE-DEE-NT-006/2019-r0) <http://bit.ly/UHR-EPE>
- Ferramenta GeoUHR <https://bit.ly/GeoUHR>

USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS (UHR)

Trabalhos futuros

- Proposta de **Manual Estudos de Inventário de UHR** envolvendo:
 - Estudos de Valoração de benefícios decorrentes da inserção da UHR no SEB— definição de critérios e metodologia
 - Metodologia e critérios de projeto para elaboração dos Estudos de Inventário de UHR
 - Mapeamento dos locais mais promissores para implantação de UHR; Pré-dimensionamento e caracterização básica dos aproveitamentos mais promissores; .Análise socioambiental
 - Hierarquização e seleção das UHR para detalhamento
 - Elaboração de Projeto piloto para sua validação;
- Estudos sobre os desafios para **Inserção das UHR nos mercados de energia (mercado/regulação) – Experiência Internacional;**

Obrigado!

Avenida Rio Branco, 1 - 11º andar
20090-003 - Centro - Rio de Janeiro
www.epe.gov.br

Toda a produção acadêmica e científica do GESEL está disponível no site do Grupo, que também mantém uma intensa relação com o setor através das redes sociais Facebook e Twitter.

Destaca-se ainda a publicação diária do IFE - Informativo Eletrônico do Setor Elétrico, editado desde 1998 e distribuído para mais de 10.000 usuários, onde são apresentados resumos das principais informações, estudos e dados sobre o setor elétrico do Brasil e exterior, podendo ser feita inscrição gratuita em <http://cadastro-ife.gesel.ie.ufrj.br>

GESEL – Destacado think tank do setor elétrico brasileiro, fundado em 1997, desenvolve estudos buscando contribuir com o aperfeiçoamento do modelo de estruturação e funcionamento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Além das pesquisas, artigos acadêmicos, relatórios técnicos e livros – em grande parte associados a projetos realizados no âmbito do Programa de P&D da Aneel – ministra cursos de qualificação para as instituições e agentes do setor e realiza eventos – work shops, seminários, visitas e reuniões técnicas – no Brasil e no exterior. Ao nível acadêmico é responsável pela área de energia elétrica do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia (PPED) do Instituto de Economia da UFRJ

ISBN: 978-65-86614-11-4

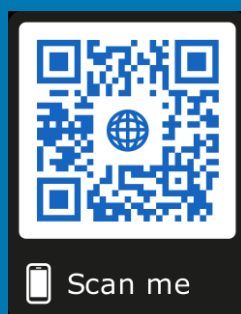
SITE: gesel.ie.ufrj.br

FACEBOOK: facebook.com/geselufrj

TWITTER: twitter.com/geselufrj

E-MAIL: gesel@gesel.ie.ufrj.br

TELEFONE: (21) 3938-5249
(21) 3577-3953



Versão Digital

ENDEREÇO:

UFRJ - Instituto de Economia.
Campus da Praia Vermelha.

Av. Pasteur 250, sala 226 - Urca.
Rio de Janeiro, RJ - Brasil.
CEP: 22290-240